



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

09/778669

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

00830082.4

CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

I.L.C. HATTEN-HECKMAN

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE,
LA HAYE, LE

16/01/01

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 00830082.4

Anmeldetag:
Date of filing:
Date de dépôt: 08/02/00

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
STMicroelectronics S.r.l.
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

A method for processing fuzzy inferences and corresponding processing structure

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

G06N7/04

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/UK
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

The original title of the application in Italian reads as follows:
Procedimento per l'elaborazione di inferenze fuzzy e relativa
struttura elaborativa.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

"Procedimento per l'elaborazione di inferenze fuzzy e relativa struttura elaborativa"

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce alle tecniche
5 per il trattamento di dati basate su criteri fuzzy.

In particolare l'invenzione affronta il problema di ottimizzare le operazioni di codifica e computazione dell'inferenza fuzzy.

Descrizione della tecnica nota

10 Le tecniche di elaborazione basate su criteri fuzzy si sono affermate nel corso degli anni per la loro capacità di fornire soluzioni a vaste classi di problemi di controllo superando inconvenienti intrinseci delle tecniche di tipo tradizionale, ad
15 esempio quelle basate sulla logica Booleana.

Questo fatto è testimoniato dall'estesa letteratura dedicata a queste tecniche, anche a livello brevettuale.

Ad esempio, in EP-A-0 675 431 è descritto un
20 metodo, utilizzabile con un controllore elettronico operante con modalità logiche di tipo fuzzy, per memorizzare funzioni di appartenenza di variabili logiche definite all'interno di cosiddetto universo del discorso discretizzato su un numero finito di punti. Il
25 procedimento realizza la memorizzazione di funzioni di appartenenza triangolari o trapezoidali tramite parole di memoria comprendenti una prima porzione in cui è contenuta una codifica del vertice della funzione di appartenenza, una seconda porzione contenente una
30 codifica corrispondente alla pendenza di almeno un lato della funzione di appartenenza, nonché una terza porzione contenente una codifica corrispondente alla pendenza di almeno un altro lato della funzione.

In EP-A-0 684 549 è descritto un procedimento per
35 elaborare in parallelo più regole di inferenza

organizzate in insiemi fuzzy ovvero funzioni logiche di insiemi fuzzy multipli comprendenti funzioni di appartenenza definite in un rispettivo universo del discorso. Le regole di inferenza in questione sono
5 essenzialmente regole del tipo IF-THEN con almeno un antecedente (preposizione) ed almeno un conseguente (implicazione). Ciascun antecedente comprende almeno un termine di confronto fra funzioni di appartenenza e una pluralità di dati di ingresso con ciascun termine
10 separato da operatori logici. Il procedimento comprende almeno una fase di calcolo del peso di ciascun termine dell'antecedente di ciascuna regola di inferenza di logica fuzzy come valore massimo dell'intersezione fra l'insieme dei dati di ingresso e le funzioni di
15 appartenenza corrispondenti.

Parimenti noto è il fatto che le logiche di tipo fuzzy ben si prestano alla realizzazione sotto forma di circuiti integrati. Al riguardo si può far utilmente riferimento al lavoro di H. Watanabe et al.: "A VLSI
20 Fuzzy Logic Controller with Reconfigurable, Cascadable Architecture" pubblicato sull'IEEE Journal Of Solid-State Circuits, vol. 25, n. 2, Aprile 1990, pagine 376-381. In particolare questo lavoro descrive un motore di inferenza basato su una logica fuzzy realizzato con
25 tecnologia CMOS.

In termini di sintesi (per una descrizione più particolareggiata si può far utilmente riferimento ai documenti in precedenza citati) nell'elaborazione di tipo fuzzy sono essenzialmente presenti:

- 30 - una variabile di ingresso,
- un insieme fuzzy (fuzzy set) della variabile di ingresso,
- funzioni di appartenenza (membership function) contenute nei fuzzy set,
- 35 - operatori logici (AND e OR) di tipo fuzzy, e

- un conseguente.

Come già richiamato in precedenza discutendo il documento EP-A-0 684 549, l'inferenza fuzzy o regola fuzzy utilizzata nella computazione fuzzy è in generale
5 del tipo:

IF antecedente THEN conseguente

dove la parte antecedente può essere in generale esplosa in un'espressione del tipo

ing0 is/not_is MFO and/or ing1 is/not_is
10 MF1....and/or ingn is/not_is MF_n.

Quindi la generica regola fuzzy, come quella sopra indicata, consta di un antecedente composto da condizioni atomiche (come "ing0 is/not_is MF0", suscettibile di essere indicata per brevità
15 semplicemente come "V is/not_is M") legate in connessione logica da operatori quali AND, OR.

La condizione atomica esprime il grado di appartenenza di un elemento dell'universo del discorso di un particolare sottoinsieme fuzzy di tale universo.
20 L'elemento in esame è denotato dalla variabile di ingresso V ed il sottoinsieme fuzzy è caratterizzato dalla funzione di appartenenza M.

Inoltre, la regola fuzzy viene codificata e memorizzata all'interno della struttura che dovrà
25 computarla.

Tutti i metodi di memorizzazione dell'inferenza fuzzy e della relativa base della conoscenza associano (analogamente a quanto fatto nella teoria fuzzy) ad ogni ingresso il suo set di appartenenza, ovvero la
30 relativa base della conoscenza che contiene tutte le appartenenze utilizzate dalla variabile di ingresso.

Per il calcolo dell'inferenza fuzzy tramite una struttura atta a computarla, l'universo del discorso delle funzioni di appartenenza di tutte le variabili di
35 ingresso viene traslato in un universo di discorso base

in modo tale che sia possibile la computazione dell'inferenza fuzzy. Considerando una struttura di calcolo di tipo numerico, l'universo del discorso base per tutte le funzioni di appartenenza sarà mappato su
5 un insieme discreto che va da 0 a 2^n-1 dove n è il numero di bit fissato come dimensione per tutte le variabili di ingresso.

Scopi e sintesi dell'invenzione

La presente invenzione si prefigge lo scopo di
10 superare due classi di inconvenienti riscontrabili nelle soluzioni secondo la tecnica nota.

In primo luogo, le diverse variabili di ingresso hanno quasi sempre i campi dell'universo del discorso completamente diversi fra loro: quindi le appartenenze
15 sono formalmente diverse. Inoltre, anche se hanno lo stesso universo del discorso, non è facile riconoscere due funzioni di appartenenza uguali descritte in modo grafico. Inoltre, per le diverse variabili di ingresso, nell'universo del discorso di base vi sono spesso
20 appartenenze uguali fra loro; quindi, nella memorizzazione all'interno della struttura che le deve computare, queste vengono ripetute per ogni variabile di ingresso a cui sono associate.

In secondo luogo, le diverse condizioni atomiche
25 del tipo "ing k is/not_is MF k ", con $k = 0, \dots, n$, opportunamente calcolate, determinano valori, chiamati alfa, che risultano essere gli operandi della parte antecedente. Le condizioni atomiche si calcolano come punto di intersezione fra la variabile di ingresso ing k
30 e la funzione di appartenenza MF k ; tale calcolo risulta essere un'operazione onerosa in termini di tempo e nel calcolo totale dell'inferenza occupa buona parte del tempo di calcolo.

La presente invenzione si prefigge quindi lo scopo
35 di affrontare, nel senso di una ottimizzazione, il

problema della ridondanza dell'informazione dovuta alla memorizzazione della stessa funzione di appartenenza per diverse variabili o per la stessa variabile e/o legata al calcolo degli operandi della parte
5 antecedente dell'inferenza o regola fuzzy.

Secondo la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto grazie ad un procedimento avente le caratteristiche richiamate in modo specifico nelle rivendicazioni che seguono. L'invenzione riguarda anche
10 una struttura elaborativa corrispondente.

In sostanza, la soluzione secondo l'invenzione si basa sul riconoscimento del fatto che, così come detto in precedenza, le diverse variabili di ingresso hanno quasi sempre i campi dell'universo del discorso
15 completamente diversi fra loro e che per ognuna nel proprio campo di esistenza vengono descritte le appartenenze adatte per il tipo di operazione fuzzy che si deve effettuare. Per essere utilizzate dall'unità di calcolo che computa le inferenze, tali appartenenze
20 devono essere rimappate dall'universo del discorso della variabile in un intervallo discretizzato adatto all'unità di calcolo. Questa operazione deve essere fatta per tutti gli universi del discorso delle variabili di ingresso utilizzati nelle inferenze da
25 computare. Si è osservato che, dopo il rimappaggio dell'universo del discorso, molte funzioni di appartenenza risultano uguali, sia tra quelle della stessa variabile di ingresso, sia - molto spesso - tra variabili di ingresso diverse. Inoltre il valore della
30 variabile V (che rappresenta un ingresso del sistema) utilizzata per il calcolo degli operandi della parte antecedente (valori alfa) cambia in molti casi con una frequenza molto bassa, per cui si finisce per calcolare ciclicamente più volte lo stesso valore di alfa.

La soluzione secondo l'invenzione consente quindi di ottimizzare lo spazio di memoria utilizzato eliminando le ridondanze e di ottimizzare il tempo di esecuzione dell'inferenza, conservando in una memoria di supporto i valori alfa già calcolati.

Breve descrizione dei disegni

L'invenzione verrà ora descritta, a puro titolo di esempio non limitativo, con riferimento ai disegni annessi, nei quali:

10 - la figura 1 illustra, sotto forma di uno schema a blocchi, una struttura di elaborativa operante secondo l'invenzione,

 - la figura 2 illustra, in forma schematica, l'organizzazione di una memoria compresa nella
15 struttura della figura 1, e

 - le figure 3 e 4 illustrano, sotto forma di diagrammi di flusso, i criteri di svolgimento di determinate operazioni di elaborazione nell'ambito della struttura secondo l'invenzione.

20 Descrizione particolareggiata di un esempio di attuazione dell'invenzione

 Nei disegni allegati, il riferimento numerico 1 indica nel complesso una struttura elaborativa destinata a ricevere su una linea di ingresso 2
25 variabili di ingresso V (ingressi fuzzy) utilizzate per generare su una linea di uscita 3 valori (denominati valori alfa) utilizzabili quali operandi per la definizione della parte antecedente di una inferenza o regola fuzzy.

30 Così come peraltro evidente per il tecnico esperto del settore, la struttura 1 è destinata ad essere incorporata in una struttura di trattamento più complessa le cui caratteristiche devono ritenersi complessivamente note, e dunque tali da non richiedere
35 una descrizione particolareggiata in questa sede anche

perchè di per sè non rilevanti ai fini della comprensione e dell'attuazione dell'invenzione.

Sempre osservando la figura 1, il riferimento 4 indica il bus di programmazione della struttura 1. Il
5 bus 4 fa capo ad un blocco 5 destinato a fungere da gestore del caricamento delle inferenze fuzzy. Il blocco 5 è configurato in modo da implementare l'algoritmo (descritto in maggiore dettaglio nel seguito con riferimento alla figura 3) che riconosce le
10 funzioni di appartenenza uguali, memorizzandone solo una per ciascun tipo e ricompilando le inferenze fuzzy in modo tale per cui i puntamenti alle funzioni di appartenenza uguali convergono sull'unica funzione di appartenenza memorizzata in una rispettiva memoria
15 indicata con 6.

Il riferimento 7 indica invece un ulteriore blocco o modulo fungente da unità di controllo dell'elaborazione delle regole fuzzy, operante in base all'algoritmo descritto in maggior dettaglio nel
20 seguito con riferimento al diagramma di flusso della figura 4.

L'unità 7 è destinata a cooperare tanto con un'unità 8 per il calcolo dei valori di alfa quanto con una memoria di supporto 9 organizzata secondo i criteri
25 illustrati nella figura 2.

In sostanza, l'unità 7 ricerca i valori di alfa eventualmente già calcolati e memorizzati nella memoria di supporto 9, mentre parallelamente l'unità 8 calcola il valore alfa. Nel caso in cui la ricerca dia esito
30 negativo, si aspetta che l'unità 8 abbia calcolato il nuovo valore destinato ad essere utilizzato per l'inferenza e per essere memorizzato nella memoria di supporto 9 insieme ai parametri di calcolo (ossia la relativa variabile di ingresso e la funzione di
35 appartenenza) che lo hanno generato.

I riferimenti 10 ed 11 indicano infine, rispettivamente, una memoria per la memorizzazione delle istruzioni fuzzy ed un circuito (concettualmente assimilabile ad un moltiplicatore) in grado di prelevare
5 il valore di alfa destinato ad essere inviato sulla linea di uscita 3 a partire dall'unità di calcolo 8 ovvero dalla memoria di supporto 9 in funzione di un rispettivo comando ricevuto dall'unità 7.

La figura 1 illustra altresì i criteri di
10 intercollegamento fra i vari blocchi della schema.

In particolare, il blocco 5 interagisce con le memorie 6 e 10 inviando corrispondenti dati e segnali di comando tramite rispettive linee 50 e 51, da una parte, nonché 52 e 53, dall'altra parte. Il blocco 5 è
15 inoltre in grado di leggere il contenuto della memoria 6 tramite una linea 60.

In modo duale, l'unità 7 interagisce con le memorie 6 e 10 tramite rispettive linee 70 e 71, per quanto riguarda la trasmissione di segnali, e tramite
20 rispettive linee 61 e 101 per quanto riguarda la funzione di lettura. I valori di lettura della memoria 10 vengono anche inviati verso l'unità di calcolo 8 tramite una linea 102, mentre la linea 2 sulla quale vengono applicate le variabili in ingresso si dirama
25 tanto verso l'unità 7 quanto verso l'unità di calcolo 8, le rispettive diramazioni essendo indicate con i riferimenti 21 e 22.

Le linee di uscita dell'unità di controllo 7 verso la memoria di supporto 9 ed il circuito 11 sono
30 indicate rispettivamente con i riferimenti 72 e 73, mentre i riferimenti 80 ed 81 indicano le uscite dell'unità 8 dirette, rispettivamente, verso la memoria di supporto 9 e verso il circuito 11.

Infine, i riferimenti 90 e 91 indicano, rispettivamente, le uscite della memoria 9 dirette verso l'unità 7 e verso il circuito 11.

5 Passando in dettaglio ad esaminare il funzionamento del blocco 5 si ricorderà che, per il calcolo dell'inferenza fuzzy tramite una struttura atta a computarla, tale inferenza (nel seguito denominata IF) viene codificata per poterla memorizzare all'interno della struttura di calcolo. In questa
10 codifica si ha anche che l'universo del discorso delle funzioni di appartenenza (MF) di tutte le variabili di ingresso viene traslato in un universo del discorso base in modo tale da rendere possibile la computazione dell'inferenza fuzzy. Come già detto, nel caso di una
15 struttura di calcolo di tipo numerico, l'universo del discorso base per tutte le funzioni di appartenenza sarà mappato su un insieme discreto che va da 0 a 2^n-1 dove n è il numero di bit fissato come dimensione per tutte le variabili di ingresso.

20 Dopo queste operazioni, si dispone dell'inferenza fuzzy codificata, denominata IF' ai fini della presente trattazione, e della funzione di appartenenza codificata, analogamente denominata M'.

Il procedimento adottato per la memorizzazione non
25 è di per sé rilevante ai fini dell'attuazione dell'invenzione. Quest'ultima si presta dunque ad essere attuata con qualsiasi criterio o metodo di codifica delle inferenze fuzzy e delle funzioni di appartenenza: è peraltro evidente che l'inferenza
30 codificata IF' deve contenere le descrizioni delle funzioni di appartenenza codificate M' necessarie per il calcolo degli operandi della parte antecedente (valori alfa).

In sintesi, il blocco 5 della figura 1 è
35 configurato (in modo di per sé noto) così da

5 intervenire sul meccanismo di puntamento delle funzioni di appartenenza M' da parte delle inferenze fuzzy IF' . In particolare il blocco 5 è in grado di riconoscere se una IF' sta puntando ad una M' uguale ad un'altra già memorizzata nella memoria 6 per reindirizzare, in caso di riconoscimento, il puntamento alla M' già memorizzata risparmiando area di memoria.

10 Nella forma di attuazione al momento preferita, il blocco 5 viene implementato sotto forma di una macchina a stati suscettibile di attuare la sequenza di passi schematicamente illustrata nel diagramma di flusso della figura 3.

15 In questo diagramma, partendo da un passo di avvio 200, il blocco 5 evolve dapprima verso un passo 201 in cui riceve dall'esterno (tipicamente in modo seriale) la inferenza fuzzy IF in formato normale e la trasforma via via nel formato codificato IF' modificando analogamente MF in M' , per poterla memorizzare.

20 Il successivo passo 202 indica il fatto che la suddetta IF' viene memorizzata nella memoria 10 fino a quando si ha la prima codifica M' di una funzione di appartenenza.

25 A questo punto, il funzionamento del blocco 5 evolve verso un passo di scelta 203 in cui si verifica se la codifica M' è già presente nella memoria 6.

30 Se la codifica M' non è presente in memoria (esito negativo del passo 203), il blocco 5 provvede, in un successivo passo 204, alla sua memorizzazione, scrivendo altresì nella inferenza fuzzy IF' il suo puntamento.

Se, al contrario, il passo 203 dà esito positivo (indicativo del fatto che la codifica M' è uguale ad un'altra già memorizzata), in un successivo passo 205 il blocco 5 opera affinché venga prelevato il puntatore alla M' già memorizzata, che viene scritta

nell'inferenza fuzzy IF' . In questo modo le due funzioni di appartenenza uguali vengono di fatto accorpate fra loro e memorizzate una sola volta.

Il processo sopra descritto viene ripetuto per
5 tutte le M' della stessa IF' e per tutte le inferenze fuzzy IF' da memorizzare, così come evidenziato dal passo di scelta indicato con 206.

L'esito negativo di questo passo, indicativo del fatto che ci sono ancora M' da trattare per una data
10 IF' , fa sì che il sistema ritorni a monte del blocco 202. L'esito positivo (fine delle M') determina l'evoluzione verso il passo 207.

Questo passo è un passo di scelta il cui esito negativo, indicativo del fatto che ci sono ancora
15 inferenze fuzzy IF' da memorizzare, rinvia il funzionamento del blocco 5 a monte del passo 201. L'esito positivo del passo 207 indica invece che le inferenze fuzzy IF' sono finite, determinando l'evoluzione del funzionamento del blocco 5 verso un
20 passo di arresto 208.

Per quanto riguarda invece il funzionamento dell'unità 7, ed in particolare la cooperazione della stessa con la memoria di supporto 9, la soluzione secondo l'invenzione mira a risparmiare tempo nel
25 calcolo dell'inferenza fuzzy e quindi a risparmiare risorse per dedicarle ad altre funzioni di elaborazione svolte nella struttura di calcolo. Tutto questo sfruttando il fatto che il valore della variabile V (ossia un ingresso del sistema) usata per il calcolo
30 degli operandi della parte antecedente dell'inferenza o regola fuzzy (operandi nel seguito semplicemente denominati valori alfa), cambia di solito con una frequenza molto bassa rispetto alle cadenze tipiche di funzionamento della struttura elaborativa 1.

In sostanza, l'unità 7 procede a determinare un valore di alfa tramite ricerca del valore nella memoria di supporto 9. Se non lo trova, porta a compimento il calcolo del valore alfa rendendolo disponibile per il
5 calcolo dell'inferenza totale, memorizzandolo altresì nella memoria 9.

La memoria 9 è organizzata secondo i criteri meglio illustrati nella figura 2, ossia come una memoria a pila o stack con caricamento dall'alto e
10 svuotamento dal basso. In particolare, in tale memoria gli alfa (ed i rispettivi valori utilizzati per il calcolo dello stesso, ossia la variabile di ingresso V ed il puntatore all'appartenenza M', denominato PM) vengono memorizzati dall'alto verso il basso così come
15 rappresentato nella figura 2. I valori ritrovati all'interno della memoria (per i quali non risulta necessario il calcolo ex-novo) vengono fatti risalire fino alla posizione di sommità (punto di ingresso dei valori nuovi calcolati), mentre, a mano a mano che la
20 memoria viene riempita, si perdono i valori memorizzati in un punto più basso.

Anche l'unità 7 è suscettibile di essere realizzata in modo vantaggioso sotto forma di una macchina a stati suscettibile di attuare la sequenza di
25 passi rappresentata nella figura 4.

Partendo da un passo di avvio 300, nel passo 301 l'unità 7 riceve i parametri per il calcolo dell'alfa, ovvero sia la variabile di ingresso V ed il puntatore PM.

30 A questo punto, il sistema evolve in parallelo verso due passi indicati rispettivamente con 302 e 303.

Nel passo 302 si procede, nell'unità 8, al calcolo del valore alfa corrispondente ai parametri di ingresso ricevuti nel passo 301.

In parallelo, nel passo 303 l'unità 7 ricerca nella memoria di supporto 9 un eventuale valore corrispondente già calcolato.

Ciò avviene di preferenza tramite i valori V e PM.

- 5 Come già detto, nella memoria di supporto 9, oltre ai valori di alfa calcolati ($ALFA_1$, $ALFA_2$, etc. di figura 2) vengono memorizzati anche i rispettivi parametri utilizzati per il calcolo (ossia, sempre riferendosi alla figura 2, i valori V_0 , V_1 , etc. e PM_0 , PM_1 , etc).
- 10 Quindi la ricerca si fa controllando se i valori V e PM ricevuti nel passo 301 siano uguali a corrispondenti valori già presenti nella prima parte della memoria di supporto 9.

- 15 Il passo 304 è essenzialmente un passo di scelta corrispondente alla verifica dell'esito della ricerca condotta nella memoria di supporto 9.

- L'esito positivo del passo 304 corrisponde al fatto che la ricerca ha permesso di ritrovare nella memoria 9 un valore di alfa già calcolato utilizzando
- 20 parametri corrispondenti ai parametri V e PM ricevuti in ingresso. In questo caso, il funzionamento dell'unità 7 evolve verso un passo 305 nel quale, da una parte, l'unità 7 interrompe il calcolo dell'alfa avviato nell'unità 8 (calcolo non più necessario in
- 25 quanto il suddetto valore è già disponibile nella memoria 9); dall'altra parte, l'unità 7 interviene sulla memoria di supporto 9 facendo sì che, in un passo indicato con 306, la riga di memoria che contiene il valore ritrovato venga fatto risalire fino alla cima,
- 30 ossia alla posizione di sommità della memoria 9.

- Nel caso in cui la ricerca non porti ad alcun risultato utile (esito negativo del passo 304) il funzionamento dell'unità 7 evolve a valle del passo 302 di calcolo dell'alfa, dunque portando a compimento il
- 35 calcolo del nuovo valore di alfa corrispondente ai

parametri in ingresso. In un passo 307, il contenuto della memoria 9 viene allora fatto scendere di una riga (si osservi sempre la rappresentazione schematica della figura 2) rendendo disponibile in cima alla memoria una
5 nuova riga in cui, in un passo 308, viene memorizzata la terna di valori costituita dai parametri V e PM nonchè dal valore alfa appena calcolato a partire da tali parametri nel passo 302.

Tanto dal passo 306 quanto dal passo 308, il
10 funzionamento dell'unità 7 evolve infine verso un ulteriore passo 309 in cui il valore di alfa reso disponibile (tramite calcolo ovvero per effetto del reperimento della memoria di supporto 9) viene inviato al circuito 11 in vista dell'inoltro sulla linea 3
15 verso il modulo (non illustrato) che procede al calcolo dell'inferenza.

Come nel caso del passo 206 della figura 3, il passo 310 della figura 4 è semplicemente un passo di scelta destinato a verificare se il processo in atto
20 sia terminato. In caso il processo non sia terminato, ad esempio per il fatto che nel frattempo sono stati ricevuti nuovi parametri di ingresso, il funzionamento dell'unità 7 evolve nuovamente verso il passo 301.

Qualora il processo sia completato, si ha invece
25 un'evoluzione verso un passo di arresto 311. Quest'ultimo può essere vantaggiosamente configurato (in modo noto) come passo di attesa della ricezione di nuovi parametri per il calcolo dell'alfa.

Naturalmente, fermo restando il principio
30 dell'invenzione, i particolari di realizzazione e le forme di attuazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione così come definita dalle rivendicazioni che seguono.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per controllare il funzionamento di una struttura (1) per l'elaborazione di inferenze fuzzy (IF) comprendenti rispettivi antecedenti definiti da condizioni atomiche identificate a partire da funzioni di appartenenza (MF), dette condizioni atomiche identificando altresì corrispondenti operandi (alfa) di detti antecedenti, caratterizzato dal fatto che comprende le operazioni di:

10 - organizzare in detta struttura (1), per almeno un'entità fra dette funzioni di appartenenza (MF) e detti operandi (alfa), una rispettiva memoria (6, 9) per la memorizzazione di valori di detta entità già disponibili, e

15 - verificare (5, 7), in sede di identificazione di un nuovo valore di detta entità, se tale valore è già presente nella rispettiva memoria (6, 9).

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che comprende l'operazione di identificare detto nuovo valore con un rispettivo valore già presente nella rispettiva memoria (6, 9).

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che comprende, in relazione a dette funzioni di appartenenza (MF), le operazioni di:

25 - codificare (IF', M') dette inferenze fuzzy (IF) e rispettive funzioni di appartenenza (MF),

30 - stabilire un meccanismo di puntamento da dette inferenze fuzzy codificate (IF') verso dette rispettive funzioni di appartenenza codificate (M'),

 - verificare (203) se una data inferenza fuzzy codificata (IF') punta ad una funzione di appartenenza codificata (M') già presente in detta rispettiva memoria (6), e

- intervenire (204, 205) su detto meccanismo di puntamento in funzione del fatto che detta funzione di appartenenza codificata (M') è già presente in detta rispettiva memoria (6).

5 4. Procedimento secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che comprende, in caso di
esito positivo di detta verifica (203), l'operazione di
reindirizzare (205) il puntamento di detta inferenza
fuzzy codificata data (IF') verso detta funzione di
10 appartenenza codificata (M') già presente in detta
rispettiva memoria (6).

5. Procedimento secondo la rivendicazione 3 o la
rivendicazione 4, caratterizzato dal fatto che
comprende, in caso di esito negativo di detta verifica
15 (203), l'operazione di memorizzare (204) detta
rispettiva funzione di appartenenza codificata (M'),
scrivendo in detta inferenza fuzzy codificata data
(IF') il suo puntamento.

6. Procedimento secondo una qualsiasi delle
20 rivendicazioni 3 a 5, caratterizzato dal fatto che
detta operazione di intervenire (204,205) su detto
meccanismo di puntamento viene effettuata per tutte le
funzioni di appartenenza codificate (M') di una inferenza
fuzzy codificata (IF') data e per tutte le inferenze
25 fuzzy codificate (IF') da memorizzare.

7. Procedimento secondo una qualsiasi delle
rivendicazioni 1 a 6, caratterizzato dal fatto che
comprende, in relazione a detti operandi (alfa), le
operazioni di:

30 - provvedere, in detta struttura (1), una funzione
di calcolo (302) di detti operandi (alfa) a partire da
rispettivi parametri di calcolo (V, PM), e

- inibire (305), almeno in parte, detta funzione
di calcolo a fronte della verifica (304) del fatto che

un corrispondente valore di operando è già presente in detta rispettiva memoria (9).

8. Procedimento secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 1 a 7, caratterizzato dal fatto che comprende, in relazione a detti operandi (alfa), le operazioni di:

- provvedere, in detta struttura (1), una funzione di calcolo (302) di detti operandi a partire da rispettivi parametri di calcolo (V, PM),

10 - configurare detta rispettiva memoria (9) per la memorizzazione di detti operandi (alfa) e dei rispettivi parametri di calcolo (V, PM), e

- esplorare detta rispettiva memoria (9) sulla base di detti rispettivi parametri di calcolo (V, PM),
15 identificando un corrispondente valore di operando (alfa) già presente in detta rispettiva memoria (9) sulla base di corrispondenti rispettivi parametri di calcolo (V, PM) già presenti in detta rispettiva memoria (9).

20 9. Procedimento secondo la rivendicazione 7 o la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detti rispettivi parametri di calcolo sono una variabile di ingresso (V) alla struttura (1) ed il puntatore (PM) alla rispettiva funzione di appartenenza (M').

25 10. Procedimento secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzato dal fatto che comprende, in relazione a detti operandi (alfa), l'operazione di organizzare detta rispettiva memoria (9) come una memoria a pila organizzata per il
30 caricamento ordinato dei nuovi valori di detti operandi (alfa) a partire da una posizione di sommità con scorrimento verso il basso dei valori già presenti in detta rispettiva memoria (9).

11. Procedimento secondo la rivendicazione 10,
35 caratterizzato dal fatto che comprende, a fronte della

verifica (304) del fatto che detto nuovo valore di operando (alfa) è già presente in detta rispettiva memoria (9), l'operazione di portare detto valore di operando già presente nella posizione di sommità di detta rispettiva memoria (9).

5
12. Struttura elaborativa (1) per l'elaborazione di inferenze fuzzy (IF) comprendenti rispettivi antecedenti definiti da condizioni atomiche identificate a partire da funzioni di appartenenza (MF), dette condizioni atomiche identificando altresì corrispondenti operandi (alfa) di detti antecedenti, caratterizzata dal fatto che comprende:

- per almeno un'entità fra dette funzioni di appartenenza (MF) e detti operandi (alfa), una rispettiva memoria (6, 9) per la memorizzazione di valori di detta entità già disponibili, e

- almeno un blocco elaborativo (5, 7) configurato per verificare, in sede di identificazione di un nuovo valore di detta entità, se tale valore è già presente nella rispettiva memoria (6, 9).

13. Struttura secondo la rivendicazione 12, caratterizzata dal fatto che detto almeno un blocco elaborativo (5, 7) identifica detto nuovo valore di detta entità con un rispettivo valore già presente nella rispettiva memoria (6, 9).

14. Struttura secondo la rivendicazione 12 o la rivendicazione 13, caratterizzata dal fatto che comprende un blocco elaborativo (5) operante in relazione a dette funzioni di appartenenza (MF) e configurato per:

- codificare (IF', M') dette inferenze fuzzy (IF) e rispettive funzioni di appartenenza (MF),

- stabilire un meccanismo di puntamento dalle inferenze fuzzy codificate (IF') verso rispettive funzioni di appartenenza codificate (M'),

- verificare (203) se una data inferenza fuzzy codificata (IF') punta ad una funzione di appartenenza codificata (M') già presente in detta rispettiva memoria (6), e

- 5 - intervenire (204, 205) su detto meccanismo di puntamento in funzione del fatto che detta funzione di appartenenza (M') è già presente in detta rispettiva memoria (6).

10 15. Struttura secondo la rivendicazione 14, caratterizzata dal fatto che detto blocco elaborativo (5) operante in relazione a dette funzioni di appartenenza (M') reindirizza (205), in caso di esito positivo di detta verifica (203), il puntamento di detta inferenza fuzzy codificata data (IF') verso detta
15 funzione di appartenenza codificata (M') già presente in detta rispettiva memoria (6).

20 16. Struttura secondo la rivendicazione 14 o la rivendicazione 15, caratterizzata dal fatto che detto blocco elaborativo (5) operante in relazione a dette funzioni di appartenenza (M') produce, in caso di esito negativo di detta verifica (203), la memorizzazione (204) di detta rispettiva funzione di appartenenza codificata (M'), scrivendo in detta inferenza fuzzy codificata data (IF') il suo puntamento.

25 17. Struttura secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 14 a 16, caratterizzata dal fatto che detto blocco elaborativo (5) operante in relazione a dette funzioni di appartenenza (M') è configurato per intervenire (204,205) su detto meccanismo di puntamento
30 per tutte le funzioni di appartenenza codificate (M') di una inferenza fuzzy codificata (IF') data e per tutte le inferenze fuzzy codificate (IF') da memorizzare.

35 18. Struttura secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12 a 17, caratterizzata dal fatto che comprende un blocco elaborativo (7) operante in

relazione a detti operandi (alfa) e suscettibile di svolgere una funzione di calcolo (302) di detti operandi (alfa) a partire da rispettivi parametri di calcolo (V, PM), nonchè una funzione di inibizione (305) per inibire, almeno in parte, detta funzione di calcolo (302) a fronte della verifica (304) del fatto che un corrispondente valore di operando (alfa) è già presente in detta rispettiva memoria (9).

19. Struttura secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12 a 18, caratterizzata dal fatto che comprende un blocco elaborativo (7) operante in relazione a detti operandi (alfa) e suscettibile di svolgere una funzione di calcolo (302) di detti operandi (alfa) a partire da rispettivi parametri di calcolo (V, PM) e dal fatto che:

- detta rispettiva memoria (9) è configurata per la memorizzazione di detti operandi (alfa) e dei rispettivi parametri di calcolo (V, PM), e

- detto blocco elaborativo (7) operante in relazione a detti operandi (alfa) esplora detta rispettiva memoria (9) sulla base di detti rispettivi parametri di calcolo (V, PM), identificando un corrispondente valore di operando (alfa) come già presente in detta rispettiva memoria (9) sulla base di corrispondenti rispettivi parametri di calcolo (V, PM) già presenti in detta rispettiva memoria (9).

20. Struttura secondo la rivendicazione 18 o la rivendicazione 19, caratterizzata dal fatto che detto blocco elaborativo (7) operante in relazione a detti operandi (alfa) utilizza, quali rispettivi parametri di calcolo, una variabile di ingresso (V) alla struttura (1) ed il puntatore (PM) alla rispettiva funzione di appartenenza (M').

21. Struttura secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 12 a 20, caratterizzata dal fatto che

comprende, in relazione a detti operandi (alfa), una
rispettiva memoria (9) organizzata come memoria a pila
configurata per il caricamento ordinato dei nuovi
valori di detti operandi (alfa) a partire da una
5 posizione di sommità con scorrimento verso il basso dei
valori di detti operandi (alfa) già presenti in detta
rispettiva memoria (9).

22. Struttura secondo la rivendicazione 21,
caratterizzata dal fatto che detto blocco elaborativo
10 (7) operante in relazione a detti operandi (alfa)
agisce su detta rispettiva memoria (9), a fronte della
verifica del fatto che un corrispondente valore di
operando (alfa) è già presente nella rispettiva memoria
(9), portando il valore di operando già presente nella
15 posizione di sommità di detta rispettiva memoria (9).

RIASSUNTO

Tanto per le funzioni di appartenenza codificate utilizzate per identificare le condizioni atomiche definenti gli antecedenti delle inferenze fuzzy, quanto per la determinazione degli operandi di detti antecedenti, si configurano rispettive memorie (6, 9) per la memorizzazione dei valori già disponibili di tali funzioni di appartenenza codificate e di detti operandi. In sede di identificazione di un nuovo valore per dette entità, si verifica (5, 7) se tale valore è già presente nella rispettiva memoria (6, 9). A fronte dell'esito positivo di tale verifica, nel caso delle funzioni di appartenenza codificate, si interviene sul meccanismo di puntamento di tali funzioni da parte delle inferenze fuzzy codificate, reindirizzando il puntamento delle inferenze fuzzy codificate verso le funzioni di appartenenza già memorizzate. Nel caso degli operandi degli antecedenti, la verifica della rispettiva memoria di supporto (9) viene condotta di preferenza sulla base dei rispettivi valori di calcolo, inibendo la funzione di calcolo di un nuovo operando quando si riscontra che i rispettivi parametri di calcolo sono già presenti nella rispettiva memoria di supporto (9). La suddetta memoria (9) è preferibilmente configurata come memoria a pila in cui nuovi valori di operando calcolati vengono scritti nella posizione di sommità, con la possibilità di far risalire verso tale posizione di sommità i valori identificati come già presenti.

30 (Figura 1)

Fig. 1

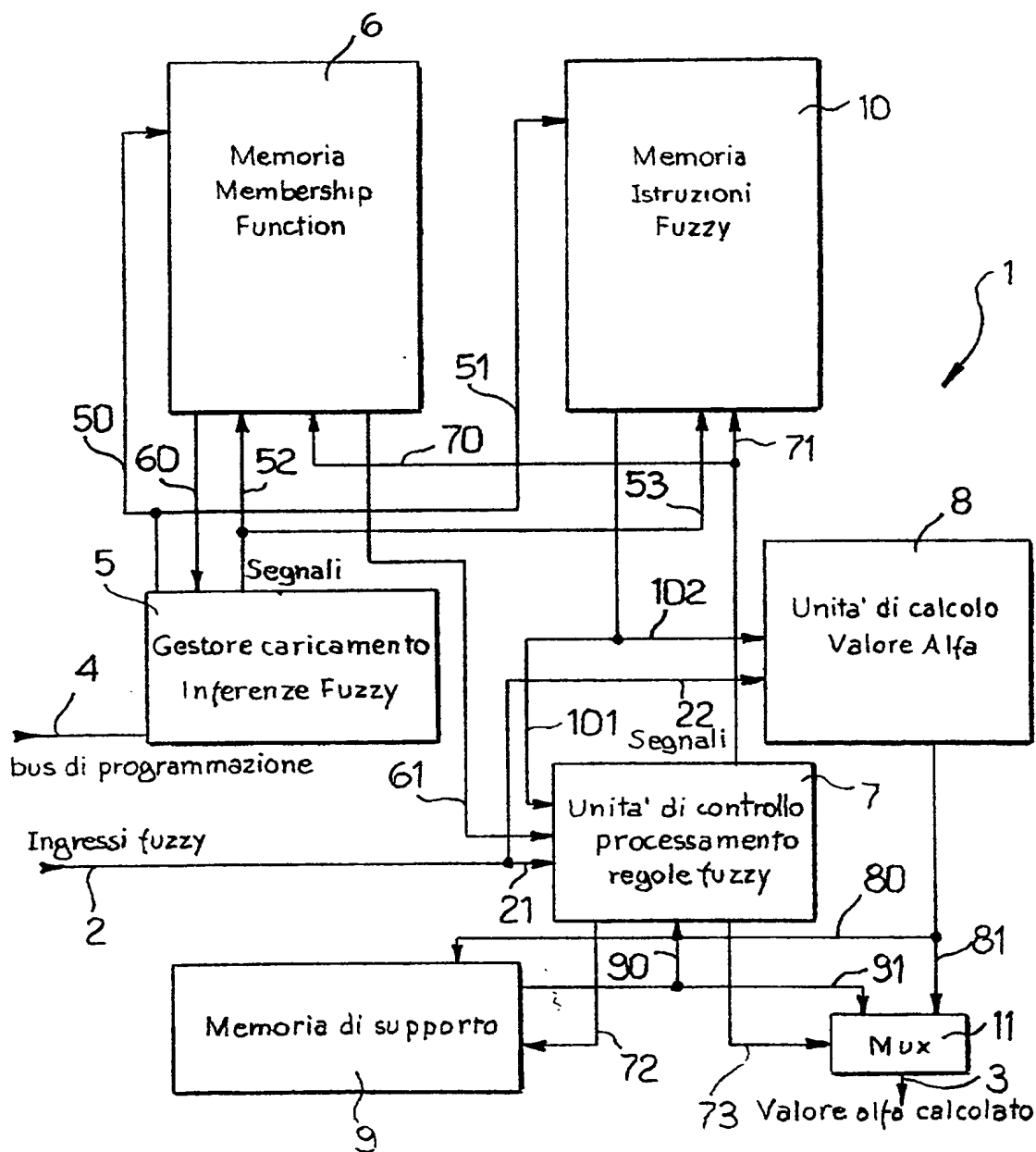


Fig. 2

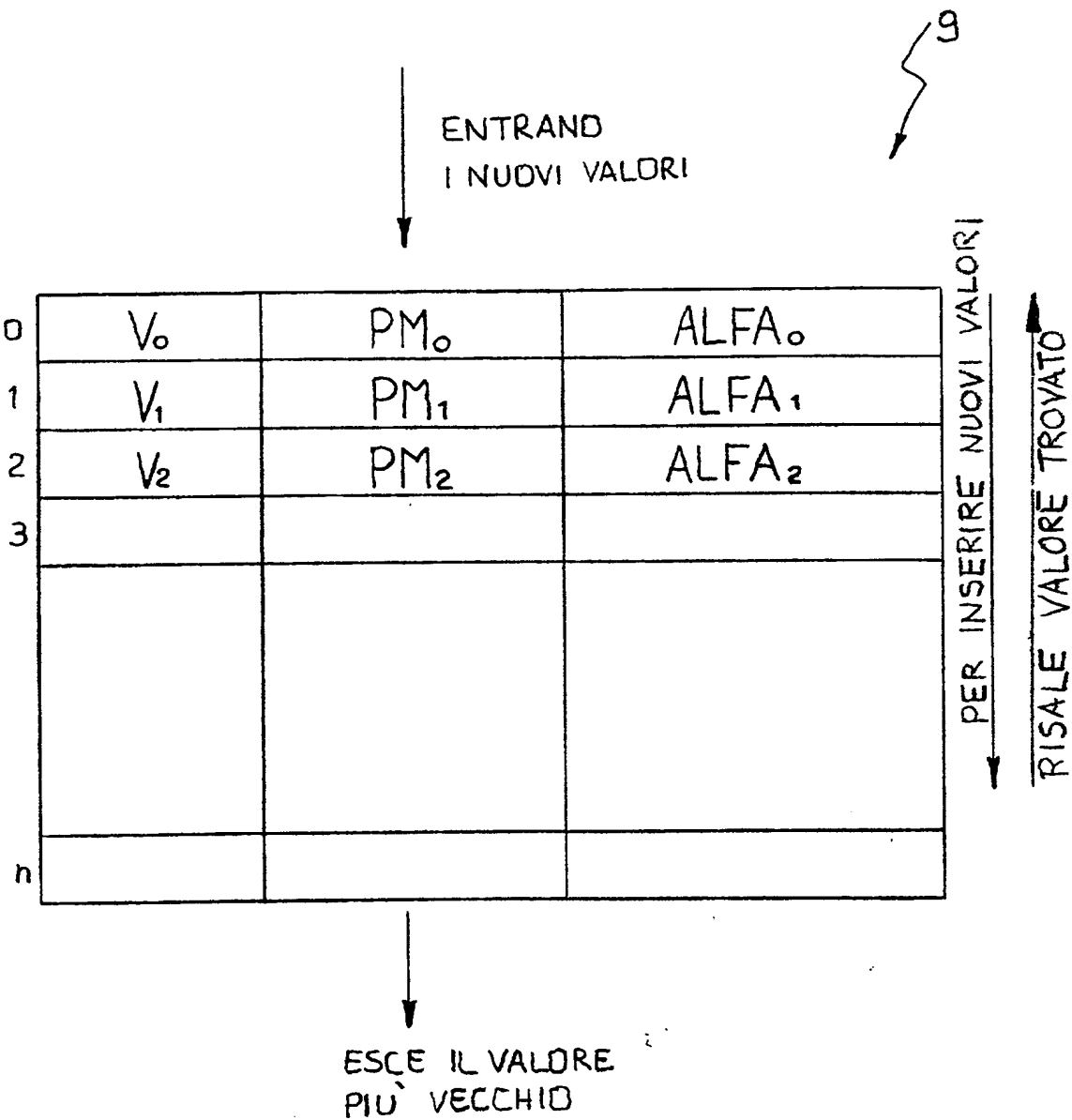
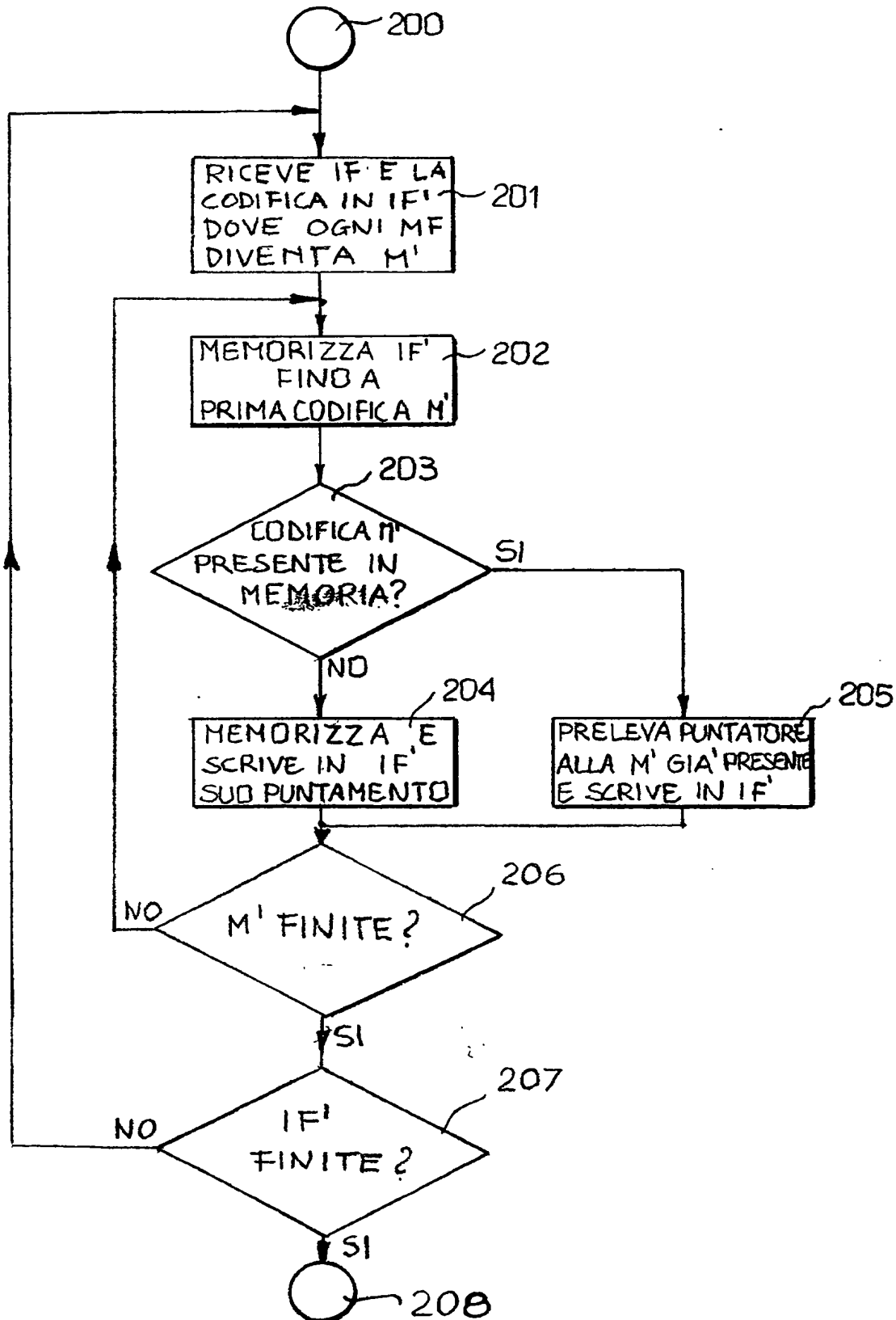
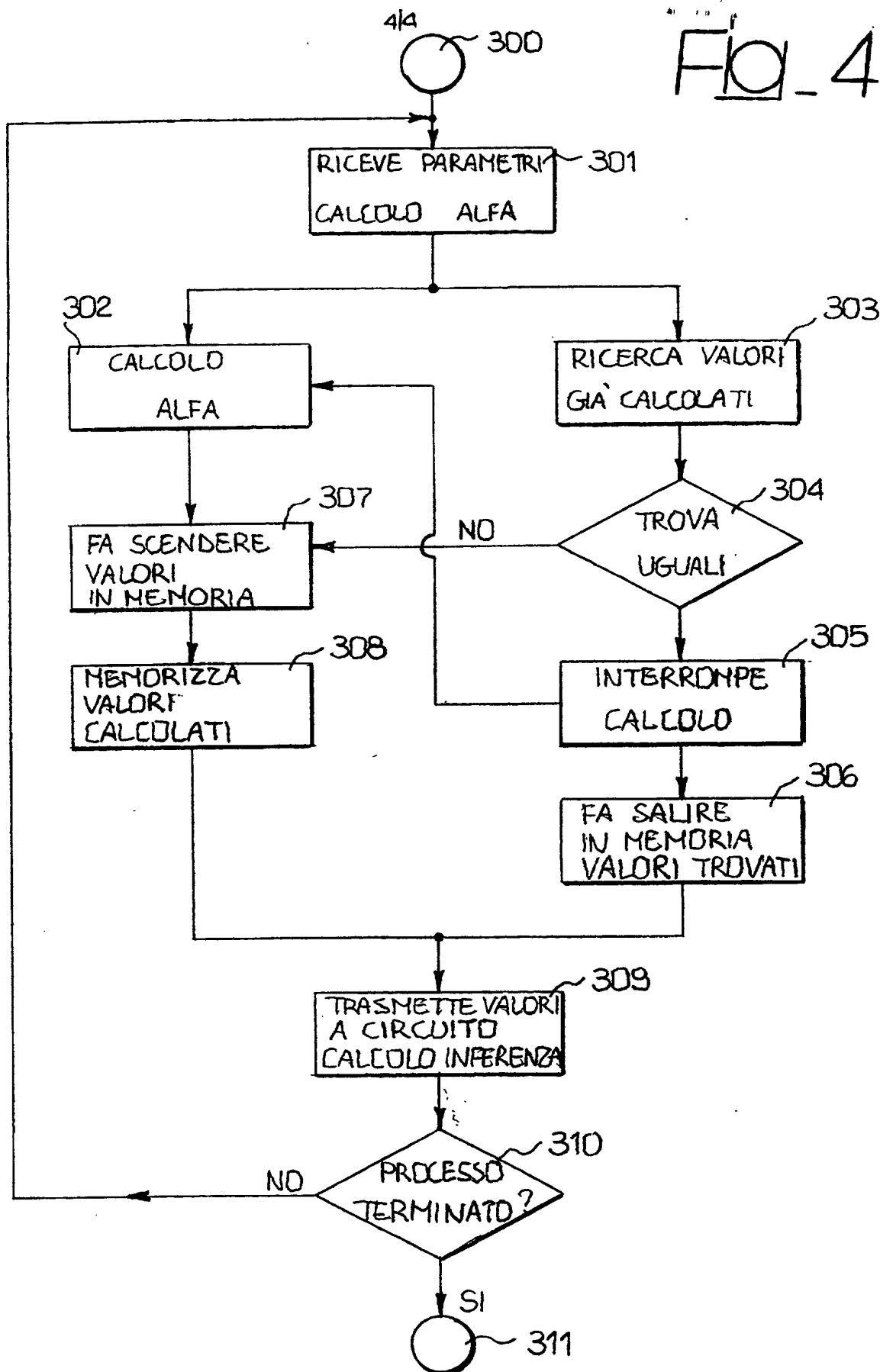


Fig. 3





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)